＊＊＊講演会から＊＊＊

鉱山用ダンプトラック自律走行システムと情報化施工の現状

Recent Development and Application of Autonomous Haulage System and i-Construction

安田　知彦*

1．Solution Linkage

日立建機は、お客様の課題である「安全性向上」「生産性向上」「ライフサイクルコスト低減」をお客様とともに解決する ICT・IoT ソリューションを、「Solution Linkage」というブランドの下に展開している。その概要を図１に示す。課題解決にあたっては、日立建機を中心に、日立グループの幅広い先進技術である“One Hitachi”や、ビジネスパートナーとのエキスパート技術を融合した“オープンイノベーション”を活用して、提案をしている。



図１　Solution Linkage

この中で、鉱山用ソリューションであるダンプトラック自律走行システムと、建設用ソリューションである情報化施工の現状について説明する。

2．露天掘り鉱山の紹介

世界の露天掘り鉱山は広大な面積の所が多く、５km×5km 位のサイズを超えるような所も珍しくない。また、面積のみならずピットの深さも 500m 以上、1000m を越えるような深い所も存在する。場所も、都市からは遠く離れた原野や高山に散在している場合が多い。石炭鉱山の衛星写真を図２に、銅鉱山のピット写真を図３に、各々例として示す。



図２　石炭鉱山の衛星写真



図３　銅鉱山のピット

3．ダンプトラック自律走行システム

ダンプトラック自律走行システム（Autonomous Haulage System = AHS）とは、露天掘り鉱山において、フリートマネジメントシステム（Fleet Management System = FMS）の指令に従い、無人のダンプトラックが積込場にて有人の積込機に積込され、積込場から放土場まで自律走行し、放土場にて積荷を所定の場所に放土し、さらに空荷の状態で積込場まで自律走行するシステムである。走行路には無人のダンプ

＊日立建機株式会社

トラック以外に有人のモータグレーダ、ブルドーザ、散水車、管理用ピックアップトラックなども走行するので、これらの有人車両とも協調して作業する必要がある。

３．１　鉱山用油圧ショベル、ダンプトラックの紹介

世界の露天掘り鉱山では、超大型の油圧ショベル、ダンプトラックが稼働している。日立建機の最大の油圧ショベルである EX8000-6、最大のダンプトラックである EH5000AC-3 などがその典型例であり、これらを図４に示す。



図４　ＥＸ８０００－６とＥＨ５０００ＡＣ－３

３．２　マイニング市場の動向

マイニング業界のお客様は、操業効率の向上、安全性の向上、コストの低減のために、掘削・積込・運搬など従来あまり手が付けられていなかったプロセスへも無人化、自動化の要求が高まっており、これを実現するために AHS への期待も高まっている。

３．３　ＡＨＳの概要とお客様のメリット

AHS の概要を図５に示す。無人のダンプトラックと有人の油圧ショベル、モータグレーダ、ブルドーザ等が混在して作業するので、高い安全性が求められる。

AHT ： Autonomous Haulage Truck

MIV ： Manned Instrumented Vehicle

GPS ： Global Positioning System

LIDAR ： Laser Imaging Detection and Ranging

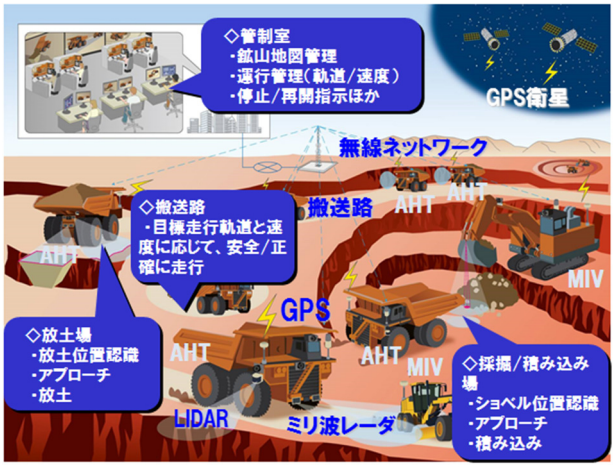


図５　AHS の概要

AHS を導入する事によるお客様のメリットは、大きく以下の３つである。

①　生産性向上

②　安全性向上

③　コスト低減

３．４　ＡＨＳによる生産性向上

まず、シフトチェンジ、休憩、食事などによる不稼働時間の低減がある。有人運転ではこれらの不稼働時間が避けられず、オペレータによっては不必要に長時間停車（怠業）する事もある。

次に、個々のオペレータの運転方法の違いやミスによる無駄時間の低減がある。速く走るオペレータと遅く走るオペレータの混在で、走行路での渋滞や積み込み機待ち時間が発生する。スキル不足のオペレータは積み込み位置、ダンプ位置にうまくトラックを止める事が出来ず、やり直しや修正の無駄時間が発生する。オペレータが道を間違えて行くべきところではない所に行ってしまい、戻るまでの往復が無駄時間となる。

また、車両修理の為の不稼働時間低減がある。急発進、急制動、急操舵などの無謀運転による故障やトラックの故障警報を無視して走行する事による重大故障が発生すると、その修理時間が不稼働時間となる。

AHS を導入する事により、これらの有人運転に起因する不稼働時間を無くす事ができる。

３．５　ＡＨＳによる安全性向上

まず、無謀運転、疲労・不注意運転による事故低減がある。有人運転ではこのような事故が避けられない。自律走行では、管理された最適な経路、速度の走行しかしないので、このような事故は起こらない。

次に人的被害低減がある。もし自律走行のトラックが事故を起こしても、オペレータが乗っていないので人的被害はない。また、オペレータの病気や精神障害などの健康問題も発生しない。

また、ＡＨＳでは管制室からの集中監視が可能である。ＡＨＳのエリアに入る有人車両はＭＩＶに限られるので、ＡＨＴを含むすべての車両が集中監視される。このため、適切な有人車両への警報や自律走行車両の減速・停止が可能となる。通常の有人オペレーションでは、必ずしもＦＭＳのディスパッチャーがすべての車両を把握してないので、この面ではＡＨＳが安全性確保に有利である。

３．６　ＡＨＳによるコスト低減

まず、オペレータ人件費低減がある。２４時間稼働では２シフト＋休暇でトラック１台あたり３人以上のオペレータが必要となる。厳しい労働環境から離職するオペレータも多く、人員も入れ替わるのでトレーニングの費用が継続的に必要となる。同じく厳しい労働環境から、オペレータの福利厚生、健康管理の費用も多大である。ＡＨＳの場合はそのオペレーション要員が必要だが大幅な人員削減が可能である。

次にトラックの燃料費低減がある。ＡＨＳでは最適な運転操作で無駄な操作（急加・減速、空ぶかし）はしないので燃料費低減が可能となる。

また、トラックのメインテナンスコスト低減がある。最適な運行経路と運転速度、運転操作で、車体へのダメージを低減して修理費用低減、タイヤライフ・ブレーキパッドライフの延長が可能である。

さらに、走行路のメインテナンスコスト低減が期待できる。最適な運行経路と運転速度、運転操作で路面へのダメージを低減し。走行路の補修費用低減が期待できる。

３．７　日立ＡＨＳの開発コンセプト

日立建機のＡＨＳは以下の３コンセプトで開発を行っている。

① Scalability（閉塞制御とスマートトラックで通信量を低減して、大規模フリートへも対応可能）
② Flexibility（標準 AC-3 トラックを後から AHT に改造が可能）
③ Agility（最新の開発手法を適用して、早期に開発を進める）

３．８　閉塞制御

鉄道の運行管理では、「1 閉塞区間を 1 列車が占有」とする排他制御を信号の管理で実現しており、運転手は、信号の色によって次の区間への進入可否を判断する。AHS の運行管理では、「1 閉塞区間を 1 ダンプトラックが占有」とする排他制御を走行許可区間の管理で実現しており、ダンプトラックは走行を許可された区間の経路データのみを付与され、それに沿って自律走行し、規定の地点まで到達すると次の区間の走行許可を要求する。AHS の閉塞制御概要を図６に示す。

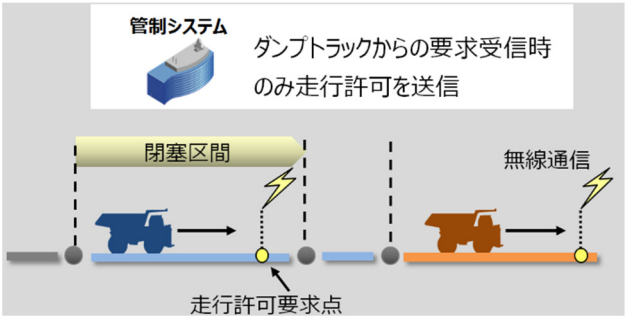


図６　AHS の閉塞制御

３．９　スマートトラック

各種のセンサと走行安定化制御を活用して、無線通信無しでも環境に適応して自律走行を可能とする。スマートトラックの概要を図７に示す。

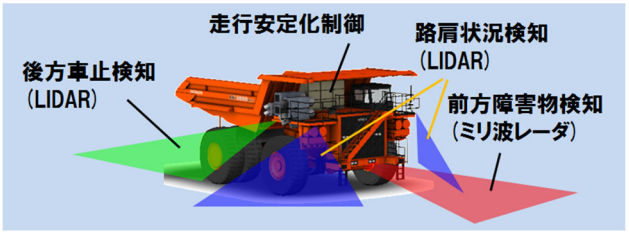


図７　スマートトラックの概要

３．１０　日立グループ技術の活用

日立 AHS の開発には、日立グループの自動車や鉄道システム、ロボティクスなどの多くの技術が適用されている。また、AC 駆動式ダンプトラックの駆動システム自体も日立製作所との共同開発品であり、現在も日立製作所が生産して供給している。日立グループ技術の適用状況を図８に示す。



図８　日立グループ技術の適用状況

３．１１　日立 AHS の今後の展開

２０１７年度に商用化試験を実施済。今後、２０１８年度にユーザテスト、２０１９年度に商用化の予定で開発を進めている。

４．日立建機の情報化施工（ICT 施工）

国土交通省主導の i-Construction のプロセス全体について、日立グループ各社の技術や経験の結集（One Hitachi）とオープンイノベーションで、個々のお客さまのニーズに応えた施工ソリューションを提供するのが日立建機の情報化施工である。その特徴は以下の３つとなる。

① “顧客協創”：お客様の要望に応じて、個別のソリューションを提供

② “オープンイノベーション”：お客様のノウハウ、日立建機製品以外の建設機械や測量機器等も活用した最適なソリューションを提供

③ “水平展開”：土木にとどまらず様々な業種のお客様への展開（建設、採石、浚渫、林業、鉄鋼等）

４．１　ICT 建機

ICT 建機の例として ICT 油圧ショベルには、現在大きく分けてマシンガイダンス機（MG 機）とマシンコントロール機（MC 機）の２種類がある。マシンガイダンス機はキャブ内の画面上でリアルタイムに動くバケットの位置と目標面情報を見ながらオペレータが操作を行う。マシンコントロール機は操作の一部を自動化して、スキルのあまりないオペレータでもベテランオペレータ並みの作業ができるようにしたものである。また、それぞれについて 2D と 3D のシステムがある。2D システムはつめ先位置や目標面などを、車体基準（車体との相対的な位置関係）で表す。3D システムはつめ先位置や目標面などを、GNSS(Gloval Navigation Satellite System)や TSS(Total Station System)を利用してグローバル基準（地球に対する絶対位置関係）で表すものである。

ZX200X-6 を例として、MG、MC のシステム構成を図９に示す。2DMG 機能、3D 機能、MC 機能の３つの機能を組み合わせることで 2DMG、2DMC、3DMG、3DMC を構成する事ができ、本体仕様に合わせて追加するだけのシンプルな構成となっている。

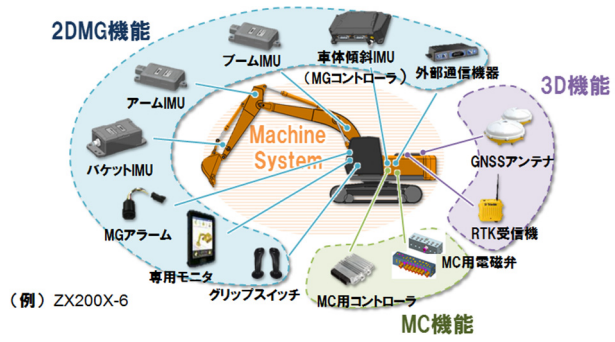


図９　MG、MC のシステム構成

４．２　i-Construction の施工

i-Construction の施工の流れと、従来方式と比較したメリットを以下に示す。

① 起工測量（UAV による写真測量）

UAV(Unmaned Aerial Vehicle)で撮影した大量の写真からソフトウエアで 3 次元点群データを作成する。測量の時間と人手を大幅に低減し、より高精度なデータを得ることができる。起工測量の流れを図１０に示す。



図１０　起工測量

② 設計・施工計画

3 次元現況データと 3 次元設計データの差分から施工土量（盛土量・切土量）を算出し、施工計画を行う。より高精度な施工計画が、短期間で可能となる。3 次元施工計画データの例を図１１に示す。

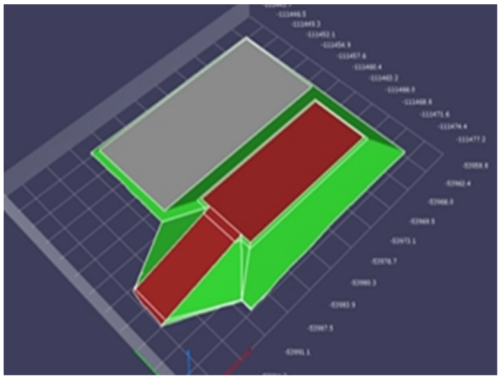


図１１　3 次元施工計画データの例

③ 施工

従来の丁張りを行わず、3D 設計データと照合しながら ICT 建機が半自動で施工を行う。丁張り不要で期間と工数の削減、半自動施工で熟練技能者でなくても短期間に施工が可能となる。ICT 油圧ショベルによる半自動施工の状況を図１２に示す。



図１２　ICT 油圧ショベルによる半自動施工の状況

④ 検査

施工後に再度、UAV やレーザスキャナで 3 次元測量を行う。同じく、測量の時間と人手を大幅に低減できるとともに、高密度で面的な検査が可能で、施工品質の向上にもつながる。ICT 検査の効果例を図１３に示す。



図１３　ICT 検査の効果例

４．３　Solution Linkage Cloud（SLC）

i-Construction の各プロセスで、SLC 上のいろいろなアプリが使用可能。Trimble 社や日立ソリューションズ社とのオープンイノベーションで開発した、オープンプラットフォーム。SLC の概要を図１４に示す。



図１４　SLC の概要

４．４　Solution Linkage Mobile（SLM）

SLM は土木工事の施工会社や運搬業者向けのソリューションで、スマートフォンなどのモバイル端末を活用することで、施工現場を IoT 化するもの。お客さまの課題やその課題に応えるアイデアを基に、以下のような実用的な機能のアプリケーションを開発した。

① 施工現場の見える化
② 施工現場の進捗管理
③ 接近検知

例えば、ダンプの接近を重機のオペレータや現場のガードマンに知らせる事で積込作業の準備ができ、ダンプ待ち時間の短縮や路上駐車の防止につながる。ダンプ接近を知らせるスマートフォン表示の例を図１５に示す。また、現場管理者に重機のアラーム情報や燃料残量を知らせることで、作業の効率化ができる。さらに、作業情報を自動集計して日報の作成ができるので、手間のかかる日報作成作業を大幅に低減できる。



図１５　ダンプ接近を知らせるスマートフォン表示の例

４．５　ひたちなかデモサイト

日立建機 ICT 施工のデモンストレーションサイトで、２０１６年１０月にオープンした。ひたちなかデモサイトにおけるデモンストレーションの状況を図１６に示す。その後、四国の香川県にも同様のデモサイトをオープンした。



図１６　デモンストレーションの例

５．おわりに

世界の露天掘り鉱山では、前述の操業効率の向上、安全性の向上、コストの低減のためだけではなく、近年は鉱山従事者の不足が深刻化しており、無人化、自動化の要求が更に高まっている。また、土木建設現場への i-Construction の導入も今後加速化が進むものと予測される。このため、鉱山用ソリューションであるダンプトラック自律走行システムと、建設用ソリューションである情報化施工への要求はますます高まって行くものと考えられるので、日立建機としては更にこの分野に注力して、お客様の期待に応えていきたい。